

水利工程基础防渗墙与地基加固施工技术研究

张 冲

中国水利水电第十二工程局有限公司 浙江 杭州 236000

摘 要：水利工程作为国民经济和社会发展的重要基础设施，其安全性与稳定性直接关系到人民群众的生命财产安全。基础防渗墙与地基加固技术作为水利工程中的关键技术，对于提高工程结构的防渗性能和承载能力具有重要意义。本文结合引江济淮二期工程沙颍河线阜阳站、耿楼站、杨桥站的实际施工案例，深入研究了水利工程基础防渗墙与地基加固的施工技术，包括水泥土搅拌桩、预应力混凝土管桩、钻孔灌注桩等多种地基加固方法，以及混凝土连续墙等防渗墙施工技术，分析了各技术的施工工艺，为类似工程提供了参考和借鉴。

关键词：水利工程；基础防渗墙；地基加固；施工技术；质量控制；技术细节

1 引言

水利工程在防洪、灌溉、供水、发电等方面发挥着重要作用，其基础工程的稳定性和防渗性能直接关系到整个工程的安全运行。随着水利工程规模的不断扩大和地质条件的日益复杂，基础防渗墙与地基加固技术面临着更高的要求和挑战。本文基于引江济淮二期工程沙颍河线阜阳站、耿楼站、杨桥站的实际施工情况，对水利工程基础防渗墙与地基加固的施工技术进行了系统研究，并丰富了相关技术细节。

2 工程概况

引江济淮二期工程沙颍河线位于淮河以北，主要任务是向安徽省淮北地区和河南省东南部的周口、商丘部分地区城乡生活及工业生产供水。工程内容包括沙颍河线阜阳站、耿楼站、杨桥站等泵站工程的建设。阜阳站工程设计流量 $45.0\text{m}^3/\text{s}$ ，总装机 6000kW ；耿楼站工程设计流量 $2.0\text{m}^3/\text{s}$ ，总装机 480kW ；杨桥站工程设计流量 $2.0\text{m}^3/\text{s}$ ，总装机 480kW 。各泵站工程区域地质条件复杂，涉及多种土层，包括粉质粘土、重粉质砂壤土、粉细砂等，且地下水位较高，对基础防渗和地基加固提出了较高要求。

3 基础防渗墙施工技术

3.1 混凝土连续墙施工

混凝土连续墙作为一种有效的防渗结构，在水利工程中得到了广泛应用。在阜阳站、耿楼站、杨桥站工程中，均采用了混凝土连续墙作为防渗墙。具体施工工艺及技术细节如下：

3.1.1 导墙施工：使用全站仪进行精确测量放线，确定导墙的中心线和边线，误差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内。采用挖掘机进行导墙沟槽开挖，沟槽宽度比导墙设计宽度宽 100mm ，深度根据设计要求确定。开挖过程中，注意保持

槽壁稳定，必要时进行支护。在沟槽内绑扎导墙钢筋，钢筋间距和保护层厚度符合设计要求。然后安装导墙模板，模板采用钢模板，确保模板平整、牢固。采用商品混凝土进行浇筑，混凝土强度等级不低于C25。浇筑过程中，使用插入式振捣器进行振捣，确保混凝土密实。

3.1.2 泥浆护壁成槽：根据地质条件选择合适的成槽机，如抓斗式成槽机或液压铣槽机。泥浆采用膨润土制备，泥浆比重控制在 $1.05\text{--}1.25\text{g}/\text{cm}^3$ 之间，粘度控制在 $20\text{--}30\text{s}$ 之间。泥浆循环系统包括泥浆池、沉淀池和循环槽，确保泥浆质量稳定。成槽机就位后，进行垂直度调整，确保成槽垂直度偏差不大于 $1/300$ 。成槽过程中，控制成槽速度，避免过快导致槽壁失稳。同时，定期检测泥浆性能，及时补充或更换泥浆。

3.1.3 钢筋笼制作与吊装：钢筋在加工场集中加工，采用数控弯箍机和钢筋切断机进行精确加工。钢筋笼主筋采用直螺纹套筒连接，确保连接质量。在胎架上制作钢筋笼，确保钢筋笼尺寸准确、形状规整。钢筋笼内设置定位箍筋和保护层垫块，确保钢筋笼就位准确^[1]。采用吊车将钢筋笼吊装入槽，吊装过程中使用两台经纬仪进行垂直度监控，确保钢筋笼垂直度偏差不大于 $1/200$ 。

3.1.4 水下混凝土灌注：导管采用直径 250mm 的钢管，导管使用前进行水密性试验和抗拉试验，确保导管不漏水、不变形。导管底部距离孔底 $300\text{--}500\text{mm}$ 。采用商品混凝土，混凝土强度等级不低于C30，坍落度控制在 $180\text{--}220\text{mm}$ 之间。混凝土运输车将混凝土运输至现场，通过溜槽或泵管将混凝土输送至导管内。采用拔球法进行首灌，确保首灌量满足导管埋深不小于 1m 的要求。灌注过程中，控制导管埋深在 $2\text{--}6\text{m}$ 之间，避免导管拔空或埋深过大导致断桩。同时，定期测量混凝土面上升高度，确保灌注质量。

3.2 塑性混凝土防渗墙

塑性混凝土防渗墙是一种新型防渗结构,具有弹性模量低、极限应变大、适应变形能力强等优点。在部分复杂地质条件下,塑性混凝土防渗墙表现出了良好的防渗效果。塑性混凝土防渗墙施工工艺与混凝土连续墙类似,但在材料配合比和施工工艺上有所调整。塑性混凝土采用较低的水泥用量和较大的膨润土掺量,以提高其塑性和适应变形能力。塑性混凝土的水泥用量一般为100-150kg/m³,膨润土掺量为10%-15%,水胶比控制在0.8-1.0之间。通过试验确定最佳配合比,确保塑性混凝土的性能满足设计要求。施工工艺包括:(1)成槽:采用与混凝土连续墙相同的成槽工艺,但需注意控制成槽速度,避免过快导致槽壁失稳。(2)钢筋笼制作与吊装:与混凝土连续墙相同,但钢筋笼的配筋率可适当降低,以适应塑性混凝土的变形能力^[2]。(3)塑性混凝土灌注:采用导管法进行灌注,灌注过程中需控制混凝土的流动性和坍落度,确保混凝土能够顺利填充槽内空间。

4 地基加固施工技术

4.1 水泥土搅拌桩

水泥土搅拌桩是一种常用的地基加固方法,通过搅拌机将水泥与地基土强制搅拌,形成具有一定强度和防渗性能的水泥土加固体。在阜阳站、耿楼站、杨桥站工程中,均采用了水泥土搅拌桩进行地基加固。具体施工工艺及技术细节如下:

4.1.1 定位放线:使用全站仪进行精确测量放线,确定桩位位置,误差控制在±50mm以内。在桩位位置打入木桩或钢筋头作为标记,并涂上醒目的颜色以便识别。

4.1.2 桩机就位:桩机就位前需进行调试,确保桩机运转正常、垂直度符合要求。桩机就位后,使用水平仪和经纬仪进行垂直度和位置调整,确保桩机垂直度偏差不大于1/100,桩位偏差不大于50mm。

4.1.3 预搅下沉:启动搅拌机使钻头边旋转边下沉至设计深度,下沉速度控制在0.5-1.0m/min之间。下沉过程中密切监控桩机运转情况和电流变化,发现异常及时停机处理。此阶段主要对原状土进行初步松动和破碎,为后续喷粉搅拌创造条件。

4.1.4 喷粉搅拌:当钻头下沉至设计深度后,开始通过空压机将干燥的水泥粉均匀喷入土层中。水泥选用P.O 42.5级普通硅酸盐水泥,质量应符合国家标准要求。喷粉量按设计配合比控制,一般每米桩长喷粉量控制在30~60kg/m范围内。喷粉的同时,搅拌叶片持续旋转,使水泥粉与土体充分混合。

4.1.5 提升搅拌:钻头从设计深度开始缓慢提升,提

升速度控制在0.5-0.8m/min之间。提升过程中继续喷粉并搅拌,确保水泥与土体均匀混合。每米提升过程中搅拌次数不少于20次,以保证混合均匀性。在桩顶设计标高以上1m范围内进行复搅处理,提高桩顶部位的密实度和强度。

4.2 预应力混凝土管桩

预应力混凝土管桩具有承载力高、施工速度快、质量可靠等优点,在水利工程地基加固中得到了广泛应用。具体施工工艺及技术细节如下:

4.2.1 桩位放样:使用全站仪进行精确测量放线,确定桩位位置,误差控制在±50mm以内。在桩位位置打入木桩或钢筋头作为标记,并涂上醒目的颜色以便识别。

4.2.2 桩机就位:桩机就位前需进行调试,确保桩机运转正常、垂直度符合要求。桩机就位后,使用水平仪和经纬仪进行垂直度和位置调整,确保桩机垂直度偏差不大于1/100,桩位偏差不大于50mm。

4.2.3 吊桩喂桩:吊桩前需对桩身进行检查,确保桩身无裂缝、断裂等缺陷。采用两点吊法进行吊装,避免桩身在吊装过程中受损。吊装过程中需保持桩身平稳,避免晃动。

4.2.4 压桩:根据地质条件和设计要求选择合适的打桩设备,采用液压静力压桩机。压桩过程中需控制压桩力,避免桩身受损或偏位。同时需密切监控桩身垂直度和贯入度等参数,发现异常情况及时停机处理。

4.2.5 接桩

采用焊接接桩法进行接桩,焊接前需对桩端进行清理和坡口处理。焊接过程中需控制焊接电流和焊接速度,确保焊缝饱满、无夹渣等缺陷。焊接结束后需对焊缝进行检查和验收,合格后方可继续施工。

4.2.6 送桩:送桩器采用与管桩规格相匹配的钢管制作,送桩器长度根据设计要求确定。送桩过程中需控制送桩速度和送桩压力,避免送桩过程中桩身受损或偏位。同时需密切监控桩身垂直度和贯入度等参数,确保送桩质量满足设计要求。

4.3 钻孔灌注桩

钻孔灌注桩具有承载力高、适应性强等优点,在水利工程地基加固中得到了广泛应用。具体施工工艺及技术细节如下:

4.3.1 桩位放样:使用全站仪进行精确测量放线,确定桩位位置,误差控制在±50mm以内。在桩位位置打入木桩或钢筋头作为标记,并涂上醒目的颜色以便识别。

4.3.2 埋设护筒:护筒采用钢板制作,内径比桩径大200-400mm。护筒埋设深度根据地质条件确定,一般不小

于2m。护筒埋设时需确保护筒垂直度和中心位置准确,护筒顶部需高出地面300mm以上以防止地面水流入孔内。

4.3.3 钻孔:根据地质条件选择合适的钻机类型如旋挖钻机或冲击钻机等。钻孔过程中需控制钻进速度和泥浆性能等参数以确保成孔质量满足设计要求。钻进过程中需密切监控钻机运转情况和电流变化发现异常情况及时停机处理。同时需定期检测泥浆比重和粘度等指标确保泥浆性能稳定。

4.3.4 清孔:根据地质条件和设计要求选择合适的清孔方法如正循环清孔或反循环清孔等。清孔过程中需控制清孔速度和泥浆性能等参数以确保孔底沉渣厚度满足设计要求(一般不大于50mm)。清孔结束后需对孔底沉渣厚度进行检测验收合格后方可进行下一道工序施工。

4.3.5 钢筋笼制作与吊装:钢筋在加工场集中加工制作成钢筋笼骨架形式并设置保护层垫块和定位箍筋以确保钢筋笼就位准确和保护层厚度满足设计要求。钢筋笼主筋采用直螺纹套筒连接或焊接连接方式确保连接质量可靠。采用吊车将钢筋笼吊装入孔并使用两台经纬仪进行垂直度监控确保钢筋笼垂直度偏差不大于1/200。吊装过程中需防止钢筋笼变形并确保钢筋笼就位准确。

4.3.6 水下混凝土灌注:导管采用直径250mm钢管并事先进行水密性试验和抗拉试验确保导管不漏水不变形。导管底部距离孔底300-500mm并设置隔水栓以防止首灌时混凝土与泥浆混合。采用商品混凝土进行制备并严格控制混凝土强度等级(不低于C30)和坍落度(180-220mm)。混凝土运输车将混凝土运输至现场并通过溜槽或泵管将混凝土输送至导管内进行灌注作业^[3]。采用拔球法进行首灌并确保首灌量满足导管埋深不小于1m要求。灌注过程中需控制导管埋深在2-6m之间并避免导管拔空或埋深过大导致断桩现象发生。同时需定期测量混凝土面上升高度并做好施工记录以便后续质量追溯。

5 施工常见问题及处理措施

5.1 防渗墙施工常见问题及处理措施

5.1.1 槽壁坍塌:槽壁坍塌主要是由于泥浆性能不佳、成槽速度过快、地下水位变化等原因导致。处理措施包括:调整泥浆性能参数如提高泥浆比重和粘度以增强泥浆护壁效果;控制成槽速度避免过快导致槽壁失稳;加强地下水位监测并及时采取降水或回灌措施保持地下水位稳定;对已坍塌槽段进行回填处理并重新成槽施工。

5.1.2 钢筋笼上浮:钢筋笼上浮主要是由于混凝土灌注过程中导管埋深过浅、混凝土上升速度过快等原因导

致^[4]。处理措施包括:控制导管埋深在合理范围内(一般不小于2m)以防止钢筋笼上浮;减缓混凝土灌注速度并避免混凝土上升速度过快;在钢筋笼顶部设置压重物或锚固装置以增加其稳定性;对已上浮钢筋笼进行纠偏处理或重新制作安装。

5.2 地基加固施工常见问题及处理措施

5.2.1 水泥土搅拌桩桩身强度不足:桩身强度不足主要是由于水泥掺量不足、搅拌不均匀、养护条件不佳等原因导致。处理措施包括:增加水泥掺量并确保水泥与地基土充分混合均匀;加强搅拌过程控制并提高搅拌次数和时间以确保搅拌均匀性;改善养护条件如覆盖保湿材料或喷水养护等以促进桩身强度发展;对强度不足桩身进行补桩处理或采取其他加固措施。

5.2.2 预应力混凝土管桩偏位或倾斜:管桩偏位或倾斜主要是由于桩位放样不准确、桩机垂直度调整不当、土层变化等原因导致。处理措施包括:加强桩位放样精度控制并使用全站仪等高精度仪器进行测量放线;调整桩机垂直度并使用水平仪和经纬仪进行监控调整;针对土层变化情况采取相应措施如调整打桩速度或压力等参数;对已偏位或倾斜管桩进行纠偏处理或重新打桩施工。

结语

本文基于引江济淮二期工程的实际施工情况,系统研究了水利工程中基础防渗墙与地基加固技术,包括混凝土连续墙、塑性混凝土防渗墙、水泥土搅拌桩等的施工工艺和质量控制措施。研究表明,通过严格控制关键工序质量和丰富技术细节,可有效满足不同地质条件下的防渗需求,并显著提升地基承载力及减少沉降。同时,强调了预防和处理常见施工问题的重要性。展望未来,随着水利工程技术要求的提高,应注重研发新型防渗材料和技术,发展智能化施工技术以实现更高效的监控和管理,推动绿色施工和可持续发展,以及深入研究复杂地质条件下的施工技术,确保工程的质量和符合更高标准。

参考文献

- [1]刘铭瑞.水利工程施工中的混凝土防渗墙施工技术[J].建材发展导向,2025,23(06):55-57.
- [2]黄玉婷.水利工程施工中塑性砼防渗墙施工技术的应用[J].水上安全,2023,(12):190-192.
- [3]李帅.水利工程中地基加固施工技术分析[J].珠江水运,2021,(15):38-39.
- [4]李翔.水利工程地基加固的理论与方法——评《水利工程地基处理》[J].人民黄河,2024,46(02):165.